

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian yang membahas tentang perbandingan antara perkerasan jalan lentur dan perkerasan kaku terdapat pada beberapa penelitian dan studi terdahulu yaitu :

1. Studi oleh Soemantoro Goenawan (2012)

Soemantoro Goenawan (2012) melakukan studi dengan judul “Studi Perbandingan Jalan Beton dan Jalan Aspal Ditinjau Dari Struktur, Biaya Pembangunan dan Biaya Pemeliharaan Dengan Metode AASHTO 1986. (Studi Kasus Jalan Raya Babat – Lamongan).

Studi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana menentukan tebal perkerasan lentur dan perkerasan kaku dengan Metode AASHTO 1986, menghitung besar anggaran biaya masing-masing perkerasan termasuk biaya pemeliharaan selama umur rencana dan membandingkan mana yang lebih ekonomis.

2. Penelitian oleh Mahyudin (2010)

Mahyudin (2010) melakukan penelitian dengan judul : "Analisis Biaya Ekonomis Sistem Perkerasan Jalan Kaku Dengan Perkerasan Jalan Lentur (ATB) Ditinjau dari Umur Rencana 10 Tahun (Studi Kasus Pada Jalan RSS Damai III Gn. Bahagia Balikpapan).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain dari perkerasan lentur maupun perkerasan kaku serta berapa besar biaya yang dibutuhkan untuk masing-masing jenis perkerasan, sehingga di dapatkan perbandingan biaya antara kedua jenis perkerasan yang lebih efisien dan ekonomis.

Dalam perhitungan desain tebal perkerasan ada dua metode yang digunakan, yaitu untuk perkerasan lentur menggunakan metode Analisa Komponen Bina Marga sedangkan untuk perkerasan kaku menggunakan metode AASHTO,1993.

3. Studi oleh Hariatin Suci Pratiwi (2010)

Hariatin Suci Pratiwi (2010) melakukan studi dengan judul "Review Desain Analisa Biaya Perkerasan Kaku pada Jalan Mangkuraya Kecamatan Tenggarong.

Studi ini bertujuan untuk membandingkan antara biaya yang perkerasan kaku yang sudah dilaksanakan dengan perkerasan kaku yang akan direncanakan kembali, mana yang lebih ekonomis diantara keduanya dengan kekuatan struktur yang sama.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Klasifikasi Jalan

Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan dalam menerima beban lalu-lintas yang dinyatakan dalam Muatan Sumbu Terberat (MST) dalam satuan ton, dan kemampuan jalan tersebut dalam melayani lalu lintas kendaraan dengan dimensi tertentu. Klasifikasi kelas jalan,

fungsi jalan dan dimensi kendaraan maksimum kendaraan yang diijinkan melalui jalan tersebut, menurut Peraturan Pemerintah RI No.43/1993, pasal 11, ditunjukkan dalam Tabel berikut :

Kelas jalan	Fungsi jalan	Dimensi kendaraan maksimum		Muatan Sumbu Terberat, MST (ton)
		Panjang (m)	Lebar (m)	
I	Arteri	18	2,5	>10
II		18	2,5	10
IIIA		18	2,5	8
IIIA	Kolektor	18	2,5	8
IIIB		12	2,5	8
IIIC		Lokal	9	2,1

Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, 2011

Istilah-istilah dan definisi fungsi jalan yang mengacu pada RSNI T-14-2004 adalah sebagai berikut (Hary Christady Hardiyatmo, 2011) :

1. **Jalan perkotaan** adalah jalan di daerah perkotaan yang mempunyai perkembangan secara permanen dan menerus sepanjang seluruh atau hampir seluruh jalan, minimum pada satu sisi jalan, apakah berupa perkembangan lahan atau bukan. Jalan pada atau dekat pusat perkotaan dengan penduduk lebih dari 100.000 jiwa selalu digolongkan dalam kelompok ini. Jalan di daerah perkotaan dengan penduduk kurang dari 100.000 jiwa juga digolongkan dalam kelompok ini, jika mempunyai perkembangan samping jalan yang permanen dan menerus (MKJI,tahun 1997).
2. **Jalan arteri** adalah jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri- ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien (Undang-Undang RI No. 13, Tahun 1980).

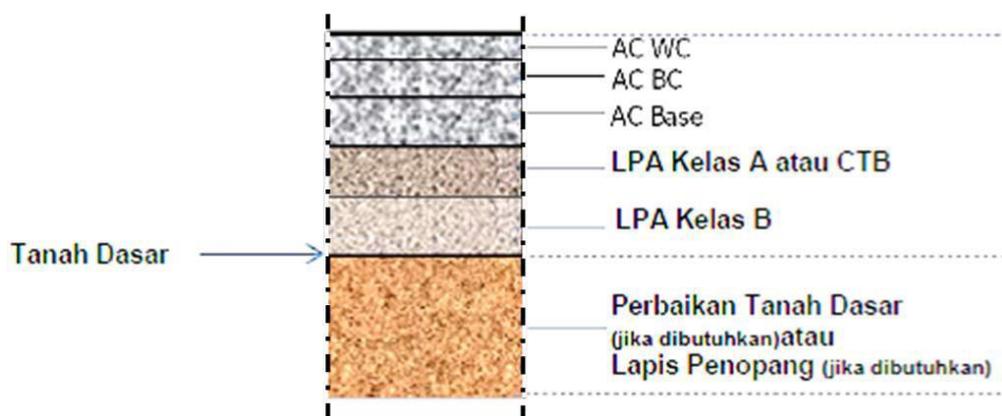
3. **Jalan kolektor** adalah jalan yang melayani angkutan pengumpulan/pembagian - dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata yang sedang dari jumlah jalan masuk dibatasi. (Undang-Undang RI No.13 Tahun 1980).
4. **Jalan lokal** adalah jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi (Undang-Undang RI No.13 Tahun 1980).
5. **Jalan arteri primer** adalah jalan yang menghubungkan secara efisien antar pusat kegiatan nasional atau antar pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah.
6. **Jalan kolektor primer** adalah jalan yang menghubungkan secara efisien antar pusat kegiatan wilayah atau menghubungkan antara pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lokal.
7. **Jalan arteri sekunder** adalah jalan yang menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder ke satu, atau menghubungkan kawasan sekunder ke satu dengan kawasan sekunder ke satu atau menghubungkan kawasan sekunder ke satu dengan kawasan sekunder ke dua.
8. **Jalan kolektor sekunder** adalah jalan yang menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder ke dua atau menghubungkan kawasan sekunder ke dua dengan kawasan sekunder ke tiga
9. **Jalan lokal sekunder** adalah jalan yang menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan perumahan, menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan perumahan, kawasan sekunder ketiga dan seterusnya sampai keperumahan.

2.2.2. Jenis Struktur Perkerasan Jalan

Secara umum jenis struktur perkerasan jalan ada empat, yakni perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*), perkerasan komposit (*composite pavement*) dan jalan tak diperkeras (*unpaved road*) (Hary Christady Hardiatmo, 2011). Perkerasan lentur adalah lapis permukaan aspal yang berada di atas lapis pondasi dan lapis pondasi bawah granular yang dihampar di atas tanah dasar. Sifat dari jenis perkerasan ini adalah kelenturan yang dihasilkan jika dilewati oleh kendaraan. Sedangkan jenis perkerasan kaku adalah menggunakan bahan beton sebagai pendukung beban lalu lintas. Jika dilewati oleh kendaraan akan terasa kaku dan kurang nyaman jika dibandingkan dengan yang sistem lentur.

2.2.3. Struktur Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) umumnya terdiri dari: tanah dasar, lapis pondasi bawah (*subbase course*), lapis pondasi (*base course*), dan lapis permukaan (*surface course*). Susunan lapis perkerasan lentur dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2.1. Susunan Lapis Perkerasan Lentur Jalan Raya (MDPJ, 2013)

1. Tanah Dasar

Sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar sangat mempengaruhi kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan. Dalam Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pt T-01-2002-B diperkenalkan modulus resilien (MR) sebagai parameter tanah dasar untuk perencanaan. Modulus resilien (MR) tanah dasar dapat ditentukan dari nilai CBR standar atau hasil tes *soil index*. MR dapat dihitung dengan rumus di bawah ini :

$$MR \text{ (psi)} = 1.500 \times CBR \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

MR = Modulus Resilien tanah dasar

CBR = *Californian Bearing Ratio*

2. Lapis Pondasi Bawah

Lapis pondasi bawah (*base course*) merupakan bagian dari struktur perkerasan lentur yang terletak di atas tanah dasar dan di bawah lapis pondasi. Pada umumnya merupakan lapisan dari material berbutir (*granular material*) yang dipadatkan, distabilisasi atau lapisan tanah yang tidak distabilisasi. Fungsi lapis pondasi bawah adalah :

- a. Sebagai bagian dari perkerasan untuk mendukung lapisan di atasnya dan menyebar beban lalu lintas.
- b. Penggunaan material yang relatif murah sehingga lapisan di atasnya dapat dikurangi ketebalannya (penghematan biaya konstruksi).
- c. Mencegah masuknya tanah dasar ke dalam lapis pondasi.
- d. Sebagai lapisan pertama yang menunjang agar pelaksanaan konstruksi berjalan lancar.

3. Lapis Pondasi

Lapis pondasi (*subbase course*) merupakan bagian dari struktur perkerasan lentur yang terletak di bawah lapis permukaan. Lapis pondasi dapat dihampar di atas lapis pondasi bawah atau dihampar langsung di atas tanah dasar. Fungsi lapis pondasi antara lain :

- a. Sebagai bagian konstruksi perkerasan jalan yang menahan dan menyalurkan beban lalu lintas.
- b. Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan-bahan yang digunakan untuk lapis pondasi wajib memiliki kekuatan dan keawetan yang cukup agar dapat menahan beban lalu lintas.

4. Lapis permukaan

Lapis permukaan (*surface course*) merupakan bagian struktur perkerasan lentur terdiri dari campuran agregat dan bahan pengikat (aspal) yang dihamparkan pada lapisan paling atas dan pada umumnya terletak di atas lapis pondasi. Fungsi lapis permukaan antara lain :

- a. Sebagai bagian konstruksi perkerasan jalan untuk menahan dan menyalurkan beban lalu lintas.
- b. Sebagai lapisan tidak yang tembus air untuk melindungi perkerasan jalan dari kerusakan akibat cuaca.
- c. Sebagai lapisan aus (*wearing course*).

2.2.3.1. Kriteria Perencanaan Perkerasan Lentur

Di dalam Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013, dijelaskan tentang kriteria yang digunakan dalam penentuan tebal perkerasan lentur antara lain :

1. Umur Rencana (UR)

Umur Rencana merupakan umur perkerasan dalam tahun yang dihitung dari saat jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan rekonstruksi atau dianggap membutuhkan lapis permukaan yang baru (Bina Marga, 2002). Umur Rencana untuk perkerasan jalan yang baru bisa dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Umur Rencana Perkerasan Baru

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	UR (Tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir dan Cement Treated Based	20
	Pondasi jalan	40
	Semua lapisan perkerasan untuk area yang tidak diijinkan sering ditinggikan akibat pelapisan ulang, misal : jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan.	
	Cement treated based	
Perkerasan Kaku	Lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah, lapis beton semen, dan pondasi jalan.	
Jalan Tanpa Penutup	Semua elemen	Minimal 10

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

2. Volume Lalu Lintas

Perhitungan volume lalu lintas berdasarkan pada survey rii lapangan. Untuk keperluan desain perkerasan jalan, volume lalu lintas bisa didapatkan dari :

- a. Survey lalu lintas, dilakukan dengan durasi minimal 7 x 24 jam. Survey mengacu pada Pedoman Survey Pencacahan Lalu Lintas dengan cara Manual Pd T-19-2004-B. Format standar survey pencacahan lalu lintas menggunakan Tabel 2.2.
- b. Hasil survey lalu lintas sebelumnya.
- c. Untuk jalan yang memiliki lalu lintas rendah dapat menggunakan perkiraan volume lalu lintas dari Tabel 2.3.

Tabel 2.2. Formulir Survei Lapangan Pencacahan Lalu Lintas

Lampiran A.1.
Formulir lapangan untuk ruas jalan
(Normatif)

DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

FORMULIR SURVAI LAPANGAN PENCACAHAN LALU LINTAS - RUAS JALAN

Lembar ke : dari

Nama Propinsi :

No Propinsi :

Nomor Pos :

Lokasi Pos :

Tanggal :

Nama Jalan :

Arah Lalu lintas : ke

Periode :

GOL.	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c	8	KETERANGAN	
WAKTU														Cuaca : 1. Cerah 2. Mendung 3. Gerimis 4. Hujan

Sumber : Manual Pd T-19-2004-B

Tabel 2.3. Perkiraan Lalu Lintas Untuk Jalan dengan Lalu Lintas Rendah

Deskripsi Jalan	LHRT dua arah	Kend berat (% dari lalu lintas)	Umur Rencana (th)	Pertumbuhan Lalu Lintas (%)	Pertumbuhan lalu lintas kumulatif	Kelompok Sumbu/ Kendaran Berat	Kumulatif HVAG	ESA/HVAG (overloaded)	Lalin Desain Indikatif (Pangkat 4) Overloaded
Jalan desa minor dg akses kendaraan berat terbatas	30	3	20	1	22	2	14.454	3,16	4,5 x104
Jalan kecil 2 arah	90	3	20	1	22	2	21.681	3,16	7 x 104
Jalan lokal	500	6	20	1	22	2,1	252.945	3,16	8 x 105
Akses lokal daerah industri atau quarry	500	8	20	3,5	28,2	2,3	473.478	3,16	1,5 x 106
Jalan kolektor	2000	7	20	3,5	28,2	2,2	1.585.122	3,16	5 x 106

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

3. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas diperoleh dari data-data pertumbuhan lalu lintas sebelumnya atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lalu lintas lain yang valid, bila tidak ada data pertumbuhan lalu lintas maka digunakan nilai minimum pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i) Minimum Untuk Desain

Jenis Jalan	2011 – 2020	> 2021 – 2030
Arteri dan perkotaan (%)	5	4
Kolektor rural (%)	3,5	2,5
Jalan desa (%)	1	1

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

Untuk menghitung faktor pengali pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana digunakan rumus berikut :

$$R = \frac{(1+0.01i)^{UR}-1}{0.01i} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

i = tingkat pertumbuhan tahunan (%)

UR = umur rencana (tahun)

4. Jenis Kendaraan

Dalam melakukan survey lalu lintas harus menggunakan pembagian jenis kendaraan dan muatannya seperti yang tertulis di dalam Tabel 2.5 berikut :

Tabel 2.5. Klasifikasi Kendaraan dan Vehicle Damage Factor (VDF) Baku

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi sumbu	Muatan ² yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban (VDF) (ESA / kendaraan)	
Klasifikasi Lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF ₄ (Pangkat 4)	VDF ₅ (Pangkat 5)
1	1	Sepeda Motor	1.1		2	30,4			
2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan/Angkot/pickup /station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,20	1,0	1,0
	6a.1	Truk 2 sumbu - cargo ringan	1.1	muatan umum	2	4,6	6,60	0,3	0,2
	6a.2	Truk 2 sumbu - ringan	1.2	tanah, pasir, besi, PC	2			0,8	0,8
	6b1.1	Truk 2 sumbu - cargo sedang	1.2	muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
	6b1.2	Truk 2 sumbu - sedang	1.2	tanah, pasir, besi, PC	2			1,6	1,7
	6b2.1	Truk 2 sumbu - berat	1.2	muatan umum	2	3,8	5,50	0,9	0,8
	6b2.2	Truk 2 sumbu - berat	1.2	tanah, pasir, besi, PC	2			7,3	11,2
	7a1	Truk 3 sumbu - ringan	1.22	muatan umum	3	3,9	5,60	7,6	11,2
	7a2	Truk 3 sumbu - sedang	1.22	tanah, pasir, besi, PC	3			28,1	64,4
	7a3	Truk 3 sumbu - berat	1.1.2		3	0,1	0,10	28,9	62,2
	7b	Truk 2 sumbu & gandengan 2 sumbu	1.2 - 2.2		4	0,5	0,70	36,9	90,4
	7c1	Semi Trailer 4 sumbu	1.2 - 22		4	0,3	0,50	13,6	24,0
	7c2.1	Semi Trailer 5 sumbu	1.22 - 22		5	0,7	1,00	19,0	33,2
	7c2.2	Semi Trailer 5 sumbu	1.2 - 222		5			30,3	69,7
	7c3	Semi Trailer 6 sumbu	1.22 - 222		6	0,3	0,50	41,6	93,7

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

5. Faktor Distribusi Lajur (DL)

Beban lalu lintas rencana pada setiap lajur tidak boleh melebihi kapasitas lajur pada setiap tahun selama umur rencana. Kapasitas lajur berdasarkan Permen PU No.19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan berkaitan Rasio Volume Kapasitas (RVK). Faktor Distribusi Lajur dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Faktor Distribusi Lajur (D_L)

Jumlah lajur per arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

6. Perkiraan Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor/VDF*)

Perhitungan beban lalu lintas yang akurat sangatlah penting. Beban lalu lintas tersebut diperoleh dari :

- a. Studi jembatan timbang/timbangan statis lainnya khusus untuk ruas jalan yang di desain.
- b. Studi jembatan timbang yang telah pernah dilakukan sebelumnya dan dianggap cukup representatif untuk ruas jalan yang di desain.
- c. Tabel 2.5
- d. Data WIM Regional yang dikeluarkan oleh Direktorat Bina Teknik.

Ketentuan cara pengumpulan data beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.7. Ketentuan Cara Pengumpulan Data Beban Lalu Lintas

Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan	Sumber Data Beban Lalu Lintas
Jalan Bebas Hambatan	1 atau 21
Jalan Raya	1 atau 2 atau 4
Jalan Sedang	1 atau 2 atau 3 atau 4
Jalan Kecil	1 atau 2 atau 3 atau 4

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

7. Pengendalian Beban Sumbu

Guna keperluan desain struktur perkerasan jalan, pengendalian beban sumbu di bagi dalam dua bagian, yaitu :

- a. sampai dengan 2020 : digunakn beban aktual saat ini
- b. setelah 2020 : digunakan beban sumbu nominal 12 ton

8. Beban Sumbu Standar

Beban sumbu yang diijinkan untuk jalan Kelas I adalah 10 ton, namun nilai CESA formula tetap menggunakan beban sumbu standar 8 ton.

9. Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESA) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, yang ditentukan sebagai :

$$ESA = (\sum_{\text{jenis kendaraan}} LHRT \times VDF \times \text{Faktor Distribusi})$$

$$CESA = ESA \times 365 \times R$$

Keterangan :

ESA : lintasan sumbu standar ekivalen (equivalent standard axle) untuk 1 (satu) hari

LHRT : lintasan harian rata – rata tahunan untuk jenis kendaraan tertentu

CESA : Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana

R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas $((1+0,01i)^{UR}-1)/0,01i$

10. Traffic Multiplier (TM)

a. Kerusakan akibat lalu lintas dalam ESA_4 memberikan hasil < kerusakan akibat kelelahan lapisan aspal (*asphalt fatigue*) akibat *overloading* yang signifikan. Traffic multiplier (TM) digunakan untuk mengoreksi ESA_4 akibat kelelahan lapisan aspal.

b. $ESA_5 = TM_{\text{lapisan aspal}} \times ESA_4$

- c. TM untuk kondisi beban berlebih di Indonesia : 1,8 - 2.
- d. TM dapat diperoleh dari lembar VDF calculator (Excel) pada Gambar 2.2 berikut :

VEHICLE DAMAGE PARAMETER CALCULATOR								
2 lane roads								
Project		<input type="text"/>						
Section		<input type="text"/>						
Date of traffic count		<input type="text"/>						
Date		<input type="text"/>						
vehicle type		vehicle description	transported goods	characteristic vehicle damage factor (VDF = ESA / vehicle)		PROJECT DATA		
DGH	Proposed?			4 th power	5 th power	AADT by vehicle type	calculated VDF ₄ * AADT	calculated VDF ₅ * AADT
1	1	motor bike		0	0		0	0
2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan / Angkot / pickup / station wagon		0	0		0	0
5a	5a	Light bus		0.3	0.2		0	0
5b	5b	Heavy bus		1	1		0	0
6a.1	6.1	2-axle truck - light	general	0.3	0.2		0	0
6a.2	6.2	2-axle truck - light	earth, sand, steel	0.8	0.8		0	0
6b1.1	7.1	2-axle truck - medium	general	0.7	0.7		0	0
6b1.2	7.2	2-axle truck - medium	earth, sand, steel	1.6	1.7		0	0
6b2.1	8.1	2-axle truck - heavy	general	0.9	0.8		0	0
6b2.2	8.2	2-axle truck - heavy	earth, sand, steel	7.3	11.2		0	0
7a1	9.1	3-axle truck	general	7.6	11.2		0	0
7a2	9.2	3-axle truck	earth, sand, steel	28.1	64.4		0	0
7a3	9.3	3-axle truck twin steer axle,	all	28.9	62.2		0	0
7b	10	2-axle truck and 2 axle towed trailer	all	36.9	90.4		0	0
7c1	11	4-axle truck - trailer	all	13.6	24		0	0
7c2.1	12	5-axle truck - trailer	all	19	33.2		0	0
7c2.2	13	5-axle truck - trailer	all	30.3	69.7		0	0
7c3	14	6-axle truck - trailer	all	41.6	93.7		0	0
TRAFFIC DAMAGE PARAMETERS FOR 2 LANE ROADS FOR USE IN PAVEMENT DESIGN			ESA / lane / day (at date of traffic count)			-		
			TM _{asphalt}			#DIV/0!		

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

Gambar 2.2. Lembar VDF calculator (Excel)

$$11. \text{CESA}_5 = \text{TM} \times \text{CESA}_4$$

Cumulative Equivalent Single Axle – Pangkat 5

- a. Faktor Ekuivalen Beban

$$\text{ESA}_5 = (L_{ij}/\text{SL})^5$$

Keterangan :

L_{ij} : beban pada sumbu atau kelompok sumbu

SL : beban standar untuk sumbu atau kelompok sumbu, mengikuti Pd T-05-2005 (hanya diadopsi beban standarnya saja), untuk STRT = 5,4 ton, STRG = 8,16 ton, STdRG = 13,75 ton & STrRG = 18,45 ton

b. Kumulatif Beban Sumbu Standar

$$ESA = (\sum_{\text{jenis kendaraan}} LHRT \times VDF \times \text{Faktor Distribusi})$$

$$CESA = ESA \times 365 \times R$$

$$R = ((1+0,01i)^{UR}-1)/0,01i$$

12. Jenis Perkerasan (*discounted whole of life cost*)

a. Pemilihan Jenis Perkerasan berdasarkan :

- Menggunakan Tabel 2.8 Pemilihan Jenis Perkerasan
- CESA untuk 20 tahun menggunakan pangkat 4

b. Bagan Desain (Design Chart) dalam Manual ini berdasarkan CESA₄ dan CESA₅ yg sesuai, yaitu :

- Pangkat 4 digunakan untuk bagan desain pelaburan tipis (Burda) dan perkerasan tanpa penutup
- Pangkat 5 digunakan untuk perkerasan lentur
- Nilai TM dibutuhkan hanya untuk desain dengan CIRCLY

Tabel 2.8 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	desain	ESA20 tahun (juta) (pangkat 4 kecuali disebutkan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	4 - 10	10 – 30	> 30
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat	4			2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (desa dan daerah perkotaan)	4A		1, 2			
AC WC modifikasi atau SMA dengan CTB (pangkat 5)	3				2	
AC dengan CTB (pangkat 5)	3			2		
AC tebal \geq 100 mm dengan lapis pondasi berbutir (pangkat 5)	3A			1, 2		
AC tipis atau HRS diatas lapis pondasi berbutir	3		1, 2			
Burda atau Burtu dengan LPA Kelas A atau Kerikil Alam	Gambar 5	3	3			
Lapis Pondasi Tanah Semen (Soil Cement)	Gambar 6	1	1			
Perkerasan Tanpa Penutup	Gambar 7	1				

 Solusi yang lebih diutamakan (lebih murah)
 Alternatif – lihat catatan

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

13. Homogenous Section & Daya Dukung Tanah Dasar

Pembagian zona iklim untuk Indonesia dinyatakan di dalam Gambar 2.3 dan Tabel 2.9. Dalam desain perkerasan, iklim mempengaruhi:

- temperatur lapisan aspal dan nilai modulusnya;
- kadar air di lapisan tanah dasar dan lapisan perkerasan berbutir.

Zona 1 iklim untuk Indonesia (berwarna kuning) berhubungan dengan Tabel Perkiraan Nilai CBR Tanah Dasar Tabel 2.10.



Gambar 2.3. Zona Iklim di Indonesia

Tabel 2.9 Zona Iklim di Indonesia

Zona	Uraian (HDM 4 types)	Lokasi	Curah hujan (mm/tahun)
I	tropis, kelembaban sedang dengan musim hujan jarang	Sekitar Timor dan Sulawesi Tengah seperti yang ditunjukkan gambar	<1400
II	tropis, kelembaban sedang dengan musim hujan sedang	Nusa Tenggara, Merauke, Kepulauan Maluku	1400 - 1800
III	tropis, lembab dengan musim hujan sedang	Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Papua, Bali, seperti yang ditunjukkan gambar	1900 - 2500
IV	tropis, lembab dengan hujan hampir sepanjang tahun dan kelembaban tinggi dan/atau banyak air	Daerah pegunungan yang basah, misalnya Baturaden (tidak ditunjukkan di peta)	>3000

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

**Tabel 2.10 Bagan Desain 1 : Perkiraan Nilai Cbr Tanah Dasar
(tidak dapat digunakan untuk tanah alluvial jenuh
atau tanah gambut)**

		LHRT <2000			LHRT ≥2000		
Posisi		Semua galian kecuali terindikasi lain seperti kasus 3 dan timbunan tanpa drainase sempurna dan FSL < 1000 mm diatas muka tanah asli		Galian di zona iklim 1 dan semua timbunan dengan drainase sempurna (m ≥ 1) dan FSL > 1000 mm di atas muka tanah asli	Semua galian kecuali terindikasi lain seperti kasus 3 dan timbunan tanpa drainase sempurna dan FSL < 1000 mm diatas muka tanah asli		Galian di zona iklim 1 dan semua timbunan dengan drainase sempurna (m ≥ 1) dan FSL > 1000 mm di atas muka tanah asli
		1	2	3	4	5	6
Posisi muka air tanah rencana (Tabel 15)		Dibawah standar desain minimum (tidak direkomendasikan)	standar desain minimum	≥1200 mm di bawah tanah dasar	Dibawah standar desain minimum	standar desain minimum	≥1200 mm di bawah tanah dasar
Jenis Tanah	IP	CBR Perkiraan (%)					
Lempung subur	50 – 70	2	2	2	2	2	2
Lempung kelanauan	40	2,5	2,7	3	2,5	2,6	3
	30	3	3,3	4	3,5	3,6	4
Lempung kepasiran	20	4	4,3	5	4,5	4,8	5,5
	10	4	4,3	5	4,5	5	6
Lanau		1	1,3	2	1	1,3	2

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

Penentuan segmen tanah dasar yang seragam :

- Data pengujian ≥ 16 per segmen, formula :

$$\text{CBR karakteristik} = \text{CBR rata}^2 - 1.3 \times \text{SD}$$

$$\text{Koefisien variasi} = \text{SD} / \text{nilai rata-rata} = 25\text{-}30\%$$

- Data pengujian < 16, nilai terkecil digunakan sebagai CBR dari segmen jalan. Nilai yg rendah yg tidak umum dapat menunjukkan daerah tsb membutuhkan penanganan khusus, sehingga dapat dikeluarkan.
- CBR karakteristik untuk desain adalah nilai min. sebagaimana ditentukan diatas untuk data yang berlaku dari:
 - Data CBR laboratorium rendaman 4 hari, atau
 - Data DCP yg disesuaikan dng musim (dikalibrasi lebih dulu), atau
 - CBR yg ditentukan dengan Bagan Desain 1 (Tabel 2.10)

Alternatif pengukuran daya dukung :

- DCP hanya dapat digunakan secara langsung untuk memperkirakan nilai CBR bila saat peng-ujian kadar air tanah mendekati kadar air maks
- Jika pengujian selama musim hujan tidak dapat dilaksanakan, maka digunakan hasil uji CBR laboratorium rendaman dari contoh lapangan, kecuali :
 - Tanah rawa jenuh sulit dipadatkan. CBR laboratorium tidak relevan. DCP yang disesuaikan dengan musim (dikalibrasi) memberikan hasil yang lebih handal
 - Lapisan lunak dng kepadatan rendah (umumnya $1200 - 1500 \text{ kg/m}^3$) yang terletak di bawah lapisan keras yang terletak di bawah muka tanah dasar rencana. Kondisi ini sering terjadi pada daerah alluvial kering terkonsolidasi & harus diidentifikasi dengan pengujian DCP.
- Data lendutan dapat digunakan untuk menentu-kan modulus tanah dasar.
- Faktor penyesuaian dapat digunakan sebagai nilai minimum. Survei sebaiknya dilaksanakan setelah musim hujan yang panjang.

Tabel 2.11 Faktor Penyesuain CBR dan Lendutan

Musim	Faktor Penyesuaian Minimum Untuk CBR dari Pengujian DCP	Faktor Penyesuaian Minimum Pengukuran Lendutan
Musim Hujan dan Tanah Jenuh	0,9	1
Peralihan	0,8	1,15
Musim Kering	0,7	1,13

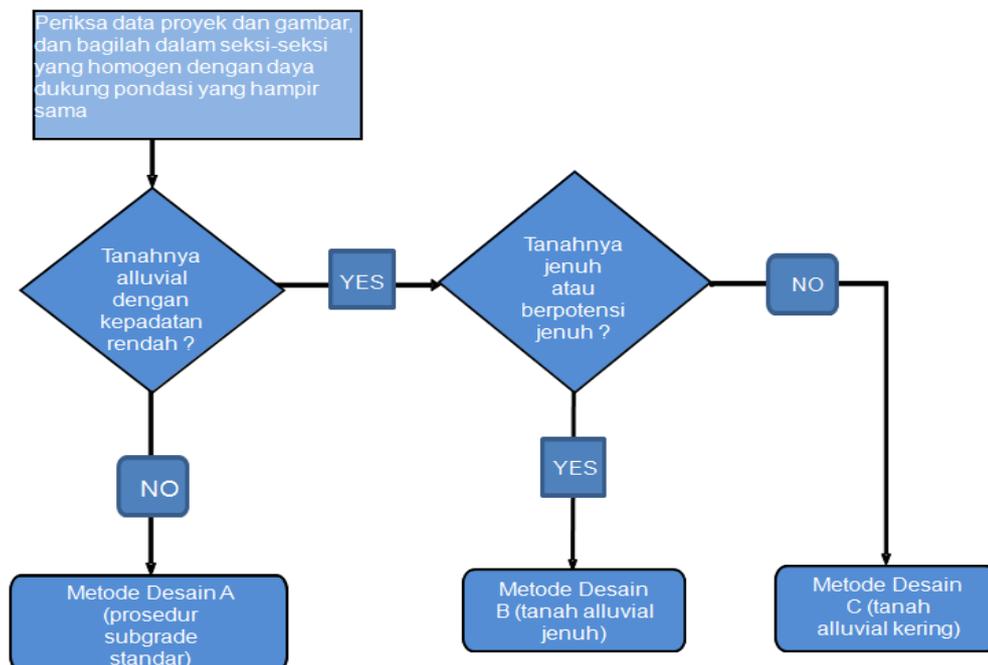
Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

- Nilai desain (CBR/lendutan) = (hasil bacaan DCP *atau* data lendutan) x faktor penyesuaian
- Pendekatan umum untuk desain pondasi harus diambil konservatif, yang mengasumsikan kondisi erendam pada tingkat pemadatan yang disyaratkan.

2.2.3.2. Desain Pondasi Perkerasan Lentur

Umur rencana pondasi jalan untuk semua jenis perkerasan adalah 40 tahun. Dan dalam prosedur desain perlu mempertimbangkan 4 (empat) kondisi tanah, yaitu :

- a. Kondisi tanah dasar normal, $CBR > 3\%$ dan dapat dipadatkan secara mekanis, kondisi normal inilah yang sering diasumsikan oleh desainer.
- b. Kondisi tanah dasar langsung diatas timbunan rendah ($< 3m$) diatas tanah lunak aluvial jenuh. CBR laboratorium tidak dapat digunakan, karena optimasi kadar air dan pemadatan secara mekanis tidak mungkin dilakukan di lapangan. Kepadatan dan daya dukung tanah asli rendah sampai kedalaman yang signifikan, sehingga diperlukan prosedur stabilisasi khusus.
- c. Sama dengan kondisi b namun tanah lunak aluvial dalam kondisi kering. CBR laboratorium memiliki validitas yang terbatas karena kepadatan tanah yang rendah dapat muncul pada kedalaman pada batas yang tidak dapat dipadatkan dengan peralatan konvensional. Kondisi ini membutuhkan prosedur stabilisasi khusus
- d. Tanah dasar di atas timbunan di atas tanah gambut.



Gambar 2.4 Bagan Perencanaan Struktur Pondasi Jalan

Metode a (tanah normal)

- Kondisi a1 : tanah dasar bersifat plastis atau berupa lanau, tentukan nilai batas-batas Atterberg (PI), gradasi, potensi pengembangan (potential swelling), letak muka air tanah, zona iklim, galian atau timbunan dan tetapkan nilai CBR dari Bagan Desain1 atau dari uji laboratorium perendaman 4 hari
- Kondisi a2 : tanah dasar bersifat berbutir atau tanah residual tropis (tanah merah, laterit), nilai desain daya dukung tanah dasar harus dalam kondisi 4 hari perendaman, pada 95% kepadatan kering modifikasi.

Untuk kedua kondisi, pilih tebal perbaikan tanah dasar dari Bagan Desain 2 (Tabel 2.12)

Tabel 2.12 Bagan Desain 2 : Solusi Desain Pondasi Jalan Minimum

CBR Tanah Dasar	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Prosedur Desain Pondasi	Uraian Struktur Pondasi Jalan	Lalu Lintas Lajur Desain Umur Rencana 40 tahun (juta CESA ₅)		
				< 2	2 - 4	> 4
				Tebal minimum peningkatan tanah dasar		
≥ 6	SG6	A	Perbaikan tanah dasar meliputi bahan stabilisasi kapur atau timbunan pilihan (pemadatan berlapis ≤200 mm tebal lepas)	Tidak perlu peningkatan		
5	SG5					
4	SG4			100	150	200
3	SG3			150	200	300
2.5	SG2,5			175	250	350
Tanah ekspansif (<i>potential swell</i> > 5%)		AE		400	500	600
Perkerasan lentur diatas tanah lunak ⁵	SG1 aluvial ¹	B	Lapis penopang (<i>capping layer</i>) ⁽²⁾⁽⁴⁾	1000	1100	1200
			Atau lapis penopang dan geogrid ⁽²⁾⁽⁴⁾	650	750	850
Tanah gambut dengan HRS atau perkerasan Burda untuk jalan kecil (nilai minimum – peraturan lain digunakan)		D	Lapis penopang berbutir ⁽²⁾⁽⁴⁾	1000	1250	1500

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

Metode b (tanah aluvial jenuh)

- Lakukan survei DCP (kalibrasi terlebih dahulu) atau survei resistivitas dan karakterisasi tanah untuk mengidentifikasi sifat dan kedalaman tanah lunak dan daerah yang membutuhkan perbaikan tambahan.
- Jika tanah lunak < 1 m, tinjau efektifitas biayanya jika opsi pengangkatan semua tanah lunak. Jika tidak, tetapkan tebal lapisan penopang (*capping layer*) dan perbaikan tanah dasar dari Bagan Desain 2.
- Tetapkan waktu perkiraan awal pra-pembebanan dari Tabel 2.13 Perkiraan Waktu Pra-pembebanan Timbunan diatas Tanah Lunak. Sesuaikan waktu perkiraan awal tersebut (umumnya *primary settlement time*) jika dibutuhkan untuk memenuhi ketentuan jadwal pelaksanaan melalui analisis geoteknik dan pengukuran seperti beban tambahan (*surchage*) atau *vertikal drain*.

Tabel 2.13 Perkiraan Waktu Pra-pembebanan Timbunan di Atas Tanah Lunak

Kedalaman sampai CBR lapangan 2% (m)	Ketinggian Timbunan Final (m)		
	< 2	2 – 2.5	> 2.5
	Waktu pra-pembebanan (bulan)		
< 1,5	3	4	5
1,5 – 2,0	5	6	9
2,0 – 2,5	8	10	13
2,5 – 3,0	12	14	19

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

- Jika waktu pra-pembebanan berlebihan atau terdapat batas ketinggian timbunan (misal pada kasus pelebaran jalan eksisting atau untuk jalan dibawah jembatan, maka bisa digunakan metode stabilisasi lainnya misal cakar ayam, pemacangan atau pencampuran tanah dalam.

Metoda c (tanah aluvial kering)

- Umumnya kekuatannya sangat rendah (misal CBR < 2%) di bawah lapis permukaan kering yang relatif keras. Kedalaman berkisar antara 400 – 600 mm. Identifikasi termudah untuk kondisi ini adalah menggunakan uji DCP. Umumnya terdapat pada dataran banjir kering dan area sawah kering.
- Daya dukung yang baik dapat hilang akibat pengaruh dari lalin konstruksi dan musim hujan. Penanganan pondasi harus sama dengan penanganan pada tanah aluvial jenuh, kecuali jika perbaikan lanjutan dilakukan setelah pelaksanaan pondasi jalan selesai pada musim kering, jika tidak perbaikan Metode b harus dilakukan.

Metode perbaikan lanjutan tersebut adalah:

- Jika lapis atas dapat dipadatkan menggunakan pemadat pad foot roller, maka tebal lapis penopang dari Bagan Desain 2 dapat dikurangi sebesar 200 mm (keterangan ini harus dimasukkan dalam Gambar Rencana)
- Digunakan metode pemadatan yang lebih dalam terbaru seperti *High Energy Impact Compaction* (HEIC) atau pencampuran tanah yang lebih dalam dapat mengurangi kebutuhan lapis penopang.

Metode d (tanah ekspansif)

- Tanah dengan Potensi Pengembangan (*Potential Swell*) > 5%, diuji dengan SNI No.03-1774-1989 pada OMC dan 100% MDD. Persyaratan tambahan untuk desain pondasi jalan diatas tanah ekspansif (prosedur AE pada Bagan Desain 2) adalah sebagai berikut:
 - Tebal lapisan penopang minimum seperti dalam Bagan Desain 2. Bagian atas dari lapis penopang atau lapis timbunan pilihan harus memiliki permeabilitas rendah atau seharusnya merupakan lapisan yang distabilisasi
 - Variasi kadar air tanah dasar harus diminimasi. Opsinya termasuk lapis penutup untuk bahu jalan, saluran dng pasangan, saluran penangkap (*cut off drains*), penghalang aliran. Drainase bawah permukaan digunakan jika dapat menghasilkan penurunan variasi kadar air.

Metode d (tanah gambut)

- Konstruksi harus dilaksanakan bertahap untuk mengakomodasi terjadinya konsolidasi sebelum penghamparan lapis perkerasan beraspal. Perkerasan kaku (tidak termasuk cakar ayam dan *micropile slab*) tidak boleh dibangun diatas tanah gambut.

- Jika dibutuhkan timbunan tinggi, seperti oprit jembatan, *extended structure* harus digunakan atau timbunan harus dipancang untuk mengurangi beban lateral pada tiang pancang jembatan. Kemiringan timbunan tidak boleh lebih curam dari 1 : 3 kecuali terdapat bordes (*berm*).
- Jika berdasarkan pengalaman terdahulu mengenai kinerja jalan akibat lalu lintas diatas tanah gambut terbatas, maka timbunan percobaan harus dilaksanakan. Timbunan percobaan harus dipantau untuk memeriksa stabilitas timbunan, waktu pembebanan dan data lainnya. Tidak boleh ada pelaksanaan pekerjaan sebelum percobaan selesai.

Perbaikan tanah dasar dengan stabilisasi

- Perbaikan tanah dasar termasuk material timbunan pilihan, stabilisasi kapur, atau stabilisasi semen. Pelebaran perkerasan pada area galian sering terjadi pada daerah yang sempit atau tanah dasar yg dibentuk tidak teratur, yang sulit untuk distabilisasi. Dalam hal ini, timbunan pilihan lebih diutamakan.
- Daya dukung material stabilisasi yg digunakan untuk desain harus diambil konservatif dan tidak lebih dari nilai terendah dari :
 - Nilai CBR laboratorium rendaman 4 hari.
 - Kurang dari empat kali lipat daya dukung material asli yg digunakan untuk stabilisasi.
 - Kurang dari nilai yg diperoleh dari rumus :

$$CBR_{\text{lapis atas tanah dasar distabilisasi}} = CBR_{\text{tanah asli}} \times 2^{\wedge (\text{tebal tanah dasar stabilisasi}/150)}$$

Formasi tanah dasar di atas muka air tanah dan muka air banjir

Tinggi minimum tanah dasar di atas muka air tanah dan muka air banjir ditentukan dalam tabel 2.14 berikut :

Tabel 2.14 Tinggi Minimum Tanah Dasar diatas Muka Air Tanah dan Muka Air Banjir

Kelas Jalan	Tinggi tanah dasar diatas muka air tanah (mm)	Tinggi tanah dasar diatas muka air banjir (mm)
Jalan Bebas Hambatan	1200 (jika ada drainase bawah permukaan di median)	500 (banjir 50 tahunan)
	1700 (tanpa drainase bawah permukaan di median)	
Jalan Raya	600 (jika ada drainase di median)	
Jalan Sedang	600	500 (banjir 10 tahunan)
Jalan Kecil	400	Tidak digunakan

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

Tanah Dasar Lunak

- Umum

- Tanah lunak didefinisikan sebagai tanah terkonso-lidasi normal (*normally consolidated*) atau terkonsolidasi sedikit over yang biasanya lempung atau lempung kelanauan. CBR lapangan tanah ini $< 3\%$ dan kuat geser (q_c) $< 7,5$ KPa hingga kedalaman 1 – 5 m.
- Tanah lunak mempunyai rasio terkonsolidasi over mendekati 1, mengindikasikan tidak adanya konsolidasi sebelumnya selain tekanan tanah permukaan eksisting. Setelah lapis kerak permukaan, nilai q_c meningkat linier seiring kedalaman. Konsolidasi normal biasanya ditemukan pada daerah dataran alluvial Indonesia
- Metode biasa dengan memadatkan permukaannya dan mengadopsi nilai CBR laboratorium tidak valid.

- Pemilihan penanganan pondasi tanah lunak
 - Bila kedalaman tanah lunak (CBR 3% dng DCP pukulan tunggal) < 1 m, pembuangan seluruh tanah lunak sebaiknya dipertimbangkan.
 - Jika kedalaman tanah lunak > 1 m, penanganan dengan lapis penopang harus dipertimbangkan.
 - Jika tanah lunak memerlukan waktu prapembebanan yang panjang, drainase vertikal dengan bahan strip (*wick drain*) hendaknya dipertimbangkan. Lapisan lempung kelanauan setebal 1,5 m bisa memerlukan waktu prapembebanan selama 4 bulan, lapisan setebal 3 m membutuhkan ≥ 16 bulan.
 - Jika lapis penopang (*capping layer*) tidak dapat digunakan, beban timbunan tambahan sementara (*surchage*), drainase vertikal dengan bahan strip (*wick drain*), cakar ayam atau *micro pile* hendaknya digunakan (di luar Manual ini)

- Lapis penopang

Lapis penopang memberikan landasan kerja bagi lalu lintas konstruksi, untuk pemadatan lapis perkerasan berbutir manapun, dan untuk penghamparan lapis perkerasan berpengikat. Lapis penopang harus memenuhi persyaratan berikut :

- Persyaratan umum untuk semua jenis perkerasan :
 - 1) Material yang digunakan adalah timbunan pilihan. Jika di bawah air menggunakan timbunan pilihan berbutir.
 - 2) Mampu memberikan landasan kerja yang kuat.
 - 3) Ketebalan minimal untuk melapisi tanah dasar adalah 600 mm.

4) Pembentukan alur lalu lintas < 40 mm.

- Metode pemadatan

Pemadatan yang tercapai < 95% MDD pada bagian bawah lapis penopang. Pemadatan maksimum yang dapat dicapai sangat penting untuk perkerasan kaku untuk mengurangi retak akibat penurunan tanah yang berbeda setelah konstruksi. Pemadatan dengan *high impact energy* harus dipertimbangkan. *Proof rolling* harus dilakukan untuk mengidentifikasi bagian-bagian setempat yang lunak dan membutuhkan penanganan lebih lanjut. Lendutan dari benkelman beam sebesar 2,5 mm akibat sumbu ganda 14,5 ton dng tekanan roda 450 kPa menunjukkan dukungan lapis penopang yang memadai.

- Separator geotekstil

Geotekstil dipasang antara muka tanah asli dan tanah lunak pada saat permukaan tanah asli telah jenuh selama masa layanan.

2.2.3.3. Desain Struktur Perkerasan Lentur

Desain Struktur perkerasan lentur dilakukan dengan memperhatikan penurunan kualitas bahan secara berangsur-angsur seiring dengan berjalannya waktu. Penurunan kualitas tersebut dipengaruhi oleh kualitas material yang digunakan, besarnya beban lalu lintas dan kondisi lingkungan (Hary Christady Hardiyatmo, 2011).

Beberapa faktor penting yang harus diperhatikan dalam desain struktur perkerasan lentur, antara lain (Ullidz, 1987) :

1. Seberapa besar daya dukung dari struktur perkerasan lentur.
2. Seberapa tinggi tingkat kualitas kenyamanan kendaraan yang bias di layani.
3. Berapa lama perkerasan akan mengalami kerusakan?
4. Apa yang akan terjadi pada kondisi perkerasannya dikemudian hari, jika telah dilakukan pekerjaan pemeliharaan dan rehabilitasi?

Solusi pekerasan yang banyak dipilih berdasarkan pada pembebanan dan pertimbangan biaya yakni (MDPJ, 2013) :

1. Tabel 2.15. BAGAN DESAIN 3: Desain Perkerasan Lentur Aspal (Opsi Biaya Minimum Termasuk CTB)
2. Tabel 2.16. BAGAN DESAIN 3A: Desain Perkerasan Lentur Alternatif
3. Tabel 2.17. ALTERNATIF BAGAN DESAIN 3A: Desain Perkerasan Lentur-Aspal Dengan Lapis Pondasi Berbutir (Solusi untuk Reliabilitas 80% Umur Rencana 20 Tahun)

Tabel 2.15 Bagan Desain 3 Desain Perkerasan Lentur (Opsi Biaya Minimum Termasuk CTB)

		STRUKTUR PERKERASAN							
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
		Lihat Bagan Desain 5 & 6				Lihat Bagan Desain 4 untuk alternatif > murah ³			
Pengulangan beban sumbu desain 20 tahun terkoreksi di lajur desain (pangkat 5) (10^6 CESA _g)		< 0,5	0,5 - 2,0	2,0 - 4,0	4,0 - 30	30 - 50	50 - 100	100 - 200	200 - 500
Jenis permukaan berpegik		HRS, SS, Pen Mac	HRS		AC _{kasar} atau AC _{halus}	AC _{kasar}			
Jenis lapis Pondasi dan lapis Pondasi bawah		Lapis Pondasi Berbutir A			Cement Treated Base (CTB)				
		KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)							
	HRS WC	30	30	30					
	HRS Base	35	35	35					
	AC WC				40	40	40	50	50
Lapisan beraspal	AC BC ⁵				135	155	185	220	280
CTB atau LPA Kelas A	CTB ⁴				150	150	150	150	150
	LPA Kelas A ²	150	250	250	150	150	150	150	150
LPA Kelas A, LPA Kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR >10%		150	125	125					

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

Tabel 2.16 Bagan Desain 3A: Desain Perkerasan Lentur Alternatif

	STRUKTUR PERKERASAN			
	FF1	FF2	FF3	FF4
	ESA ₅ (juta) untuk UR 20 tahun di lajur desain			
	0,8	1	2	5
	TEBALLAPIS PERKERASAN (mm)			
AC WC	50	40	40	40
AC BC lapis 1	0	60	60	60
AC BC lapis 2/ AC Base	0	0	80	60
AC BC lapis 3/ AC Base	0	0	0	75
LPA Kelas A lapis 1	150	150	150	150
LPA Kelas A lapis 2/ LPA Kelas B	150	150	150	150
LPA Kelas A , LPA Kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR >10%	150	150	0	0

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

**Tabel 2.17 Alternatif Bagan Desain 3A:
Desain Perkerasan Lentur - Aspal Dengan Lapis Pondasi Berbutir
(Solusi untuk Reliabilitas 80% Umur Rencana 20 Tahun)**

	STRUKTUR PERKERASAN								
	FF1	FF2	FF3	FF4	FF5	FF6	FF7	FF8	FF9
Solusi yang dipilih					Lihat Catatan 3			Lihat Catatan 3	
Pengulangan beban sumbu desain 20 tahun di lajur rencana (pangkat 5) (10 ⁶ CESA ₅)	1 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 50	50 - 100	100 - 200
	KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)								
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LPA	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1	1	2	2	3	3	3	3	3

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

2.2.4. Struktur Perkerasan Kaku

Saat ini konstruksi perkerasan fleksibel lebih disukai dan banyak jalan yang beton yang telah diberi tambahan berupa lapis aus dan lapis permukaan dengan campuran beraspal. Tebal lapis tambahan ini minimal setebal 100 mm agar tidak terjadi retak refleksi ke permukaan lapis beraspal akibat terjadinya muai dan susut pada pelat beton.

Konstruksi perkerasan kaku membutuhkan keahlian khusus dan peralatan yang rumit dan mahal.

Pada konstruksi perkerasan kaku, struktur utama perkerasan adalah lembaran pelat beton, yang pada perkerasan lentur, lapis ini setara dengan kombinasi dari lapis aus, lapis permukaan, dan lapis pondasi. Konstruksi perkerasan ini disebut "kaku" karena pelat beton tidak terdefleksi akibat beban lalu lintas dan didesain untuk berumur 40 tahun sebelum diperlukan pekerjaan rekonstruksi besar-besaran.

Dalam mendesain struktur perkerasan kaku ada beberapa hal yang harus diperhatikan terkait dengan pemilihan metode yang dipakai untuk penelitian ini yaitu Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013.

2.2.4.1. Kriteria Perencanaan Perkerasan Kaku

Di dalam Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013, dijelaskan tentang kriteria yang digunakan dalam penentuan struktur perkerasan kaku antara lain :

1. Umur Rencana (UR) Jalan Baru

- a. Semua jenis lapisan : 40 tahun, kapasitas jalan harus mencukupi selama umur rencana
- b. Alternatif Umur Rencana

Jika dipandang sulit untuk menggunakan umur rencana 40 tahun, maka dapat digunakan umur rencana berbeda, namun sebelumnya harus dilakukan analisa dengan *discounted whole of life cost*, dimana ditunjukkan bahwa umur rencana dapat memberikan *discounted whole of life cost* terendah.

2. Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga Desain

Distribusi Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga :

- a. Untuk Perkerasan Kaku mengacu pada Pd T-14-2003 : Tabel 2.18.
- b. *Heavy Vehicle Axle Group (HVAG)* & bukan CESA

Tabel 2.18 Perhitungan Jumlah Sumbu Berdasarkan Jenis dan Bebannya

Jenis Kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (ton)				Jml. Kend (bh).	Jml. Sumbu Per Kend (bh).	Jml. Sumbu (bh)	STRT		STRG		STdRG	
	RD	RB	RGD	RGB				BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)	BS (hb)	JS (bh)
(1)	(2)				(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
MP	1	1	-	-	1640	-	-	-	-	-	-	-	-
Bus	3	5	-	-	300	2	600	3	300	5	300	-	-
Truk 2as Kcl	2	4	-	-	650	2	1300	2	650	-	-	-	-
Truk 2as Bsr	5	8	-	-	780	2	1560	5	780	8	780	-	-
Truk 3as Td	6	14	-	-	300	2	600	6	300	-	-	14	300
Truk Gandg.	6	14	5	5	10	4	40	6	10	-	-	14	10
								5	10	-	-	-	-
								5	10	-	-	-	-
Total							4100		2710		1080		310

RD = roda depan, RB = roda belakang, RGD = roda gandeng depan, RGB = roda gandeng belakang, BS = beban sumbu, JS = jumlah sumbu, STRT = sumbu tunggal roda tunggal, STRG = sumbu tunggal roda ganda, STdRG = sumbu tandem roda ganda.

Sumber : Pd-T-14-2003

2.2.4.2. Desain Pondasi Perkerasan Kaku

Pondasi untuk perkerasan kaku dengan lalu lintas berat harus meliputi :

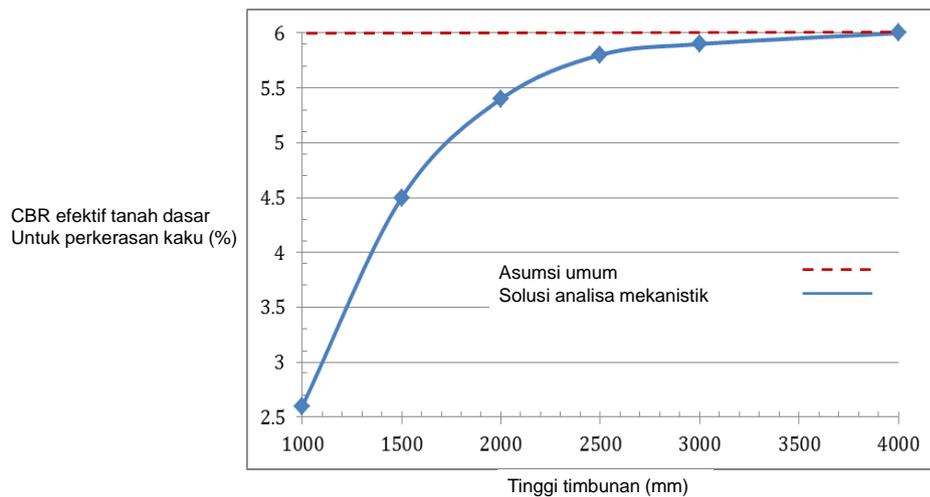
1. Pengangkatan dan penggantian tanah lunak.
2. Lapis penopang dengan nilai CBR desain tanah dasar tidak lebih besar dari yang ditentukan dalam gambar 2.4. Lapis penopang harus diberikan beban awal untuk membatasi pergerakan tak seragam setelah konstruksi, atau
3. Pondasi khusus diperlukan untuk mendukung lapis pondasi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pondasi perkerasan kaku yaitu :

1. Daya dukung efektif tanah dasar

- a. Pondasi perkerasan kaku di atas tanah lunak
 - Pengangkatan dan penggantian tanah lunak, atau
 - Lapis penopang dengan CBR desain tanah dasar < dari yg ditentukan dalam Gambar 2.5. Lapis penopang harus diberikan beban awal untuk membatasi pergerakan tak seragam setelah konstruksi, atau
 - Pondasi khusus seperti cakar ayam untuk mendukung lapis pondasi
- b. Metode-metode yg dipakai saat ini
 - Metode pertama yaitu penentuan daya dukung ekuivalen bagi 1 m pertama tanah dasar atau
 - Metode kedua yaitu penentuan modulus reaksi tanah dasar dari *plate bearing test*.
 - Metode ketiga yang diajukan yaitu daya dukung ekuivalen yg menghasilkan tingkat tegangan maks yg sama pada dasar pelat perkerasan kaku di atas tanah lunak yg diberi lapis penopang (*capped*) dibandingkan terhadap tanah dasar yg seragam dng kedalaman tak

terbatas yg mempu-nyai daya dukung yg sama. Analisa multilayer (CIRCLY) digunakan untuk memperoleh matriks solusi. Gambar 2.5 menunjukkan solusi untuk struktur perkerasan umum.



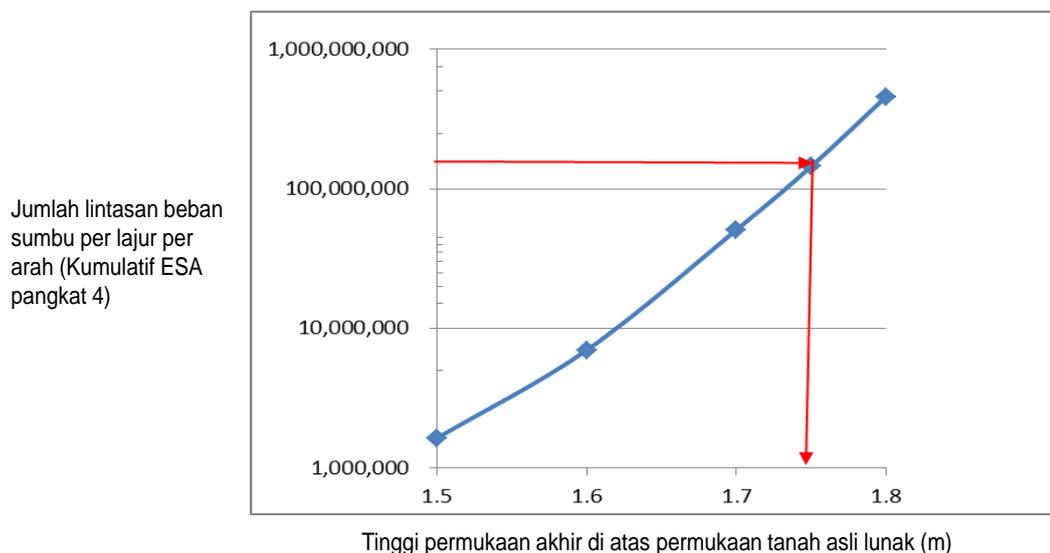
Gambar 2.4. CBR Maksimum Tanah Dasar untuk Permukaan Tanah Lunak yang Diberi Lapis Penopang



Gambar 2.6 Struktur Perkerasan Kaku yang Digunakan Dalam Analisa

c. Deformasi Plastis Tanah Dasar akibat Beban Dinamis

- Deformasi plastis di bawah sambungan perkerasan kaku bersamaan dengan erosi material tanah dasar melalui sambungan, menyebabkan rongga yang mungkin memerlukan *undersealing/mud jacking*.
- Besarnya deformasi plastis pada lapisan-lapisan tanpa pengikat (*unbound*) di bawah sambungan dapat diestimasi. Gambar 2.6 menggambarkan dampak tinggi timbunan terhadap jumlah repetisi beban yang menyebabkan kegagalan sambungan
- Timbunan rendah pada tanah lunak rentan mengalami kegagalan dini. Pondasi beton sebaiknya termasuk tulangan distribusi retak jika tinggi timbunan < yang ditunjukkan Gambar 2.6. Untuk alinyemen baru, jika dimungkinkan, timbunan dipasang > yang ditunjukkan Gambar 2.6.



Gambar 2.7 Tinggi Minimum Dari Permukaan Akhir Sampai Batas Deformasi Plastis Permukaan Tanah Lunak Asli Di bawah Sambungan Plat

d. Deformasi Plastis Permukaan Tanah Lunak Asli Di bawah Sambungan Pelat

- Penurunan terkait Kegagalan pada Tanah Lunak
 - Batas-batas lendutan akibat total settlement membantu memastikan bahwa mutu pengendaraan (*riding quality*) perkerasan tetap memadai dan perkerasan kaku tidak mengalami keretakan berlebihan.
 - Pengurangan batas-batas ini diperbolehkan untuk jalan perkerasan lentur dengan volume lalu lintas rendah.
 - Batas-batas ini tidak berlaku bagi perkerasan tanpa penutup aspal (*unsealed*).
 - Bila dilakukan konstruksi perkerasan bertahap dan tahap pertama adalah perkerasan lentur, batas-batas ini dapat dikurangi namun harus dipenuhi pada tahap konstruksi akhir dan umur rencana sisa. Jika ada pekerjaan overlay yang terjadwal, batas-batas ini berlaku pada umur rencana antara overlay
 - 2 bentuk penurunan yang berbahaya akibat konsolidasi tanah : perbedaan penurunan pada semua daerah dan penurunan total dekat bangunan struktur.
 - Penurunan total dekat bangunan struktur adalah yang paling kritis. Setiap jenis penurunan dapat dikurangi dng pra pembebanan. Penurunan pasca konstruksi yang cukup besar (penurunan setelah dimulainya pelaksanaan lapis perkerasan) menyebabkan kerusakan

struktural dan hilangnya kualitas berkendara dan karena itu harus dipertimbangkan

- Batas-batas penurunan (*settlement*) bagi timbunan pada tanah lunak dalam Tabel 2.18 berikut ini :

Tabel 2.19 Batas-Batas Penurunan (*Settlement*) Bagi Timbunan Pada Tanah Lunak

Jenis penurunan	Kelas Jalan	Uraian	Batas yang diijinkan	Penanganan pencegahan tipikal
Kasus Umum Total Penurunan	Semua jalan nasional, propinsi dan kolektor	Penurunan mutlak setelah dimulainya pelaksanaan perkerasan (setara dengan di samping bangunan struktur)	Total 100 mm	a) Pra-pembebanan sebelum pelaksanaan perkerasan (pra pembebanan pada oprit struktur, sebesar periode konsolidasi primer mungkin dibutuhkan kecuali penanganan tambahan diberikan) b) <i>wick drain</i> atau beban timbunan tambahan sementara (<i>surcharge</i>) bila diperlukan untuk mempercepat konsolidasi c) penggantian tanah atau pemancangan pada bagian oprit struktur
Perbedaan Penurunan dan Penurunan Total jika bersampingan dengan bangunan struktur	Jalan bebas hambatan atau jalan raya dengan kecepatan rencana 100 - 120 km/j	Di antara setiap dua titik secara memanjang dan melintang termasuk yang bersampingan dengan struktur tertanam dan atau pada <i>relief slab</i> abutment jembatan	0,003:1 (perubahan kemiringan 0,3%)	Seperti untuk total settlement
	Jalan raya atau jalan kecil dengan kecepatan rencana 60 kpj atau lebih rendah		0,006:1 (0,6%)(nilai antara bisa dipakai untuk kecepatan rencana lainnya)	Seperti di atas
Penurunan Rangkap (Creep Settlement) akibat beban dinamis dan statis	Jalan bebas hambatan atau jalan raya dengan kecepatan rencana 100 - 120 km/j	Digunakan pada perkerasan kaku dengan sambungan	4 mm di sambungan	Tinggi timbunan minimum sesuai Gambar 7, atau dukungan dari <i>micro pile</i> dan cakar ayam atau tulangan menerus.
	Jalan raya atau jalan kecil dengan kecepatan rencana 60 km/j atau lebih rendah		8 mm di sambungan	

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

e. Waktu Pra-Pembebanan pada Tanah Lunak

Timbunan pada tanah lunak harus dihampar dng waktu > yg ditentukan dalam Tabel 2.19 sebelum perkerasan dihamparkan. Waktu aktual

ditentukan oleh ahli geoteknik menggunakan Panduan Geoteknik (Pt T-08-2002-B). Waktu pra-pembebanan bisa dipersingkat dng pembebanan sementara (*surcharging*) atau dengan penggunaan drainase vertikal dng bahan strip (*wick drain*). Untuk perkerasan lentur, waktunya bisa diubah dengan konstruksi bertahap. Kondisi pra-pembebanan agar diaplikasikan dengan seksama untuk konstruksi perkerasan kaku

Tabel 2.20 Perkiraan Waktu Pra-pembebanan Timbunan Diatas Tanah Lunak

Kedalaman sampai CBR lapangan 2% (m)	Ketinggian timbunan final (m)		
	< 2	2 – 2.5	> 2.5
	Waktu pra-pembebanan (bulan)		
< 1,5	3	4	5
1,5 – 2,0	5	6	9
2,0 – 2,5	8	10	13
2,5 – 3,0	12	14	19

Catatan :

1. Wick drain, surcharge, konsolidasi vakum atau penanganan lainnya agar dipertimbangkan untuk mengurangi waktu pra-pembebanan sehubungan dengan waktu yang tersedia untuk pra-pembebanan yang terbatas.
2. Penilaian geoteknik dibutuhkan untuk menentukan waktu pra-pembebanan yang sebenarnya.
3. Timbunan > 3 m diatas tanah lunak membutuhkan penyelidikan geoteknik menyeluruh terutama untuk stabilitas lereng.

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

- f. Tinggi Minimum Timbunan untuk Mendukung Perkerasan Kaku diatas Tanah Lunak Tanpa Perbaikan
- Setiap faktor berikut ini sebaiknya dipenuhi untuk timbunan diatas tanah lunak pada permukaan tanah asli.

g. Tinggi minimum keseluruhan timbunan untuk perkerasan kaku hendaknya sesuai dengan Gambar 2.7 agar dapat menahan pergerakan berlebihan dari pembebanan dinamis untuk umur desain pondasi 40 tahun.

- Tinggi minimum lapisan penopang untuk menahan alur (*rutting*) pada tanah dasar akibat lalu lintas konstruksi hendaknya sesuai Bagan Desain 2.

Tinggi-tinggi tersebut merupakan nilai minimum. Tinggi tambahan harus ditambahkan pada nilai alinyemen vertikal yang ditunjukkan dalam Gambar untuk mengantisipasi:

- Penurunan pasca konstruksi.
- Perbedaan superelevasi atau lereng melintang dari titik rendah ke garis kendali alinyemen vertikal, termasuk untuk desain pelebaran.

h. Struktur Pondasi Jalan

- Prosedur Desain dengan 4 Kondisi Tanah:
 - Kondisi tanah dasar normal,
 - Kondisi tanah dasar langsung diatas timbunan rendah (< 3m) diatas tanah lunak aluvial jenuh.
 - Sama dng kondisi B namun tanah lunak aluvial dalam kondisi kering.
 - Tanah dasar diatas timbunan diatas tanah gambut
- Mengacu ke lembar pada Perkerasan Lentur sebelumnya

i. Jenis Sambungan, biasanya Ruji (*Dowel*)

Ketentuan-ketentuan dari Pd T-14-2003

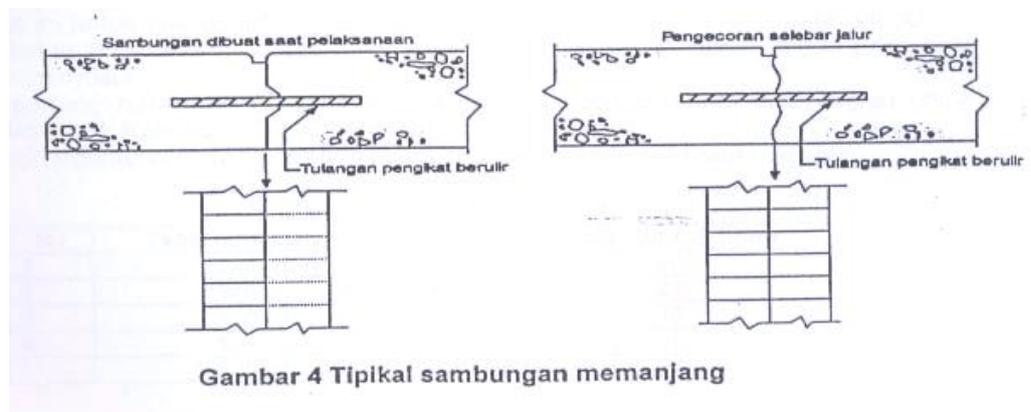
- Sambungan :
 - Tujuan
 - Membatasi tegangan & pengendalian retak akibat penyusutan, lenting dan beban lalu lintas
 - Memudahkan pelaksanaan
 - Mengakomodasi gerakan pelat
- Jenis Sambungan
 - Sambungan memanjang
 - Sambungan melintang
 - Sambungan isolasi
 - Mengakomodasi gerakan pelat

Semua sambungan harus ditutup dng joint sealer kecuali sambungan isolasi diisi dulu dengan joint filler

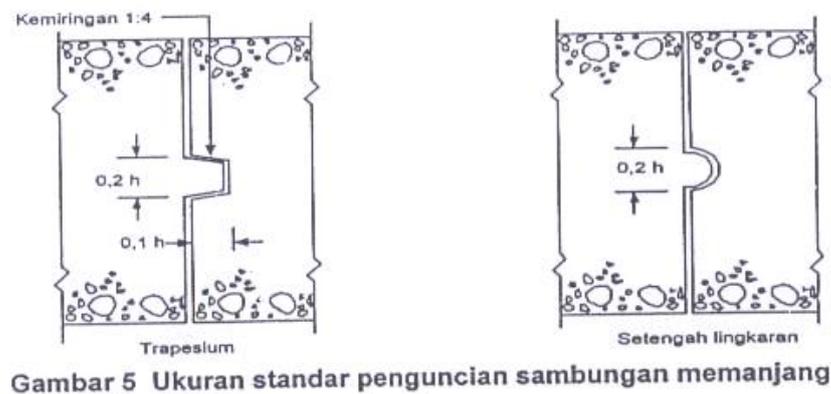
- Sambungan Memanjang dng Batang pengikat (*Tie Bar*) :
 - Dimensi dan jarak batang pengikat :

$$A_t = 204 \times b \times h \text{ \&}$$

$$l = (38,3 \times \Phi) + 75, \text{ dimana:}$$
 - A_t = luas penampang tulangan / m pjg sambungan
 - b = jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dng tepi perkerasan (m)
 - h = tebal pelat (m)
 - l = panjang batang pengikat
 - Φ = diameter batang pengikat (mm)
 - Batang harus ulir, mutu min. BJTU 24, Φ 16 mm



Gambar 2.8 Tipikal Sambungan Memanjang



Gambar 2.9 Ukuran Standar Penguncian Sambungan Memanjang

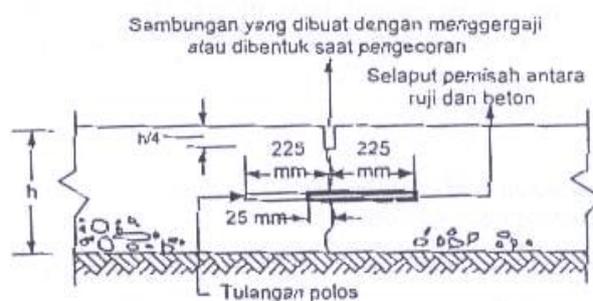
- Sambungan Susut Memanjang dilakukan dengan :
 - Menggergaji atau
 - Membentuk selagi plastis dengan $\frac{1}{3}$ kedalaman.
- Sambungan Susut Melintang & Sambungan Pelaksanaan Melintang
 - Tegak lurus sumbu memanjang & tepi perkerasan
 - Untuk mengurangi beban dinamis, dipasang dengan kemiringan 1 : 10

- Jarak sambungan susut melintang pada perkerasan :
 - beton bersambung tanpa tulangan : 4 – 5 m
 - beton bersambung dng tulangan : 8 – 15 m
 - beton menerus dengan tulangan sesuai kemampuan pelaksanaan
- Sambungan dilengkapi ruji (*dowel*)
 - Batang polos 45 cm, jarak 30 cm, lurus dan dapat bebas bergerak saat beton menyusut
 - $\frac{1}{2}$ panjang ruji polos dilumuri bahan anti lengket,
 - Φ ruji tergantung tebal pelat, tak dapat disubstitusi

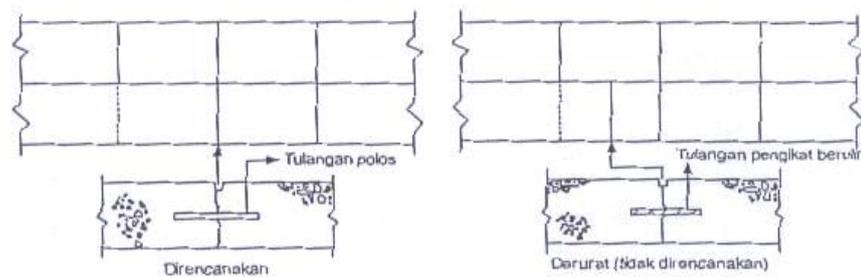
Tabel 2.21 Diameter Ruji

No	Tebal Pelat Beton, h (mm)	Diameter Ruji (mm)
1	$125 < h \leq 140$	20
2	$140 < h \leq 160$	24
3	$160 < h \leq 190$	28
4	$190 < h \leq 220$	33
5	$220 < h \leq 250$	36

Sumber : Pd T-14-2003



Gambar 2.10 Sambungan Susut Melintang dengan Ruji



Gambar 2.11 Sambungan Pelaksanaan yang Direncanakan dan yang Tidak Direncanakan untuk Pengecoran Per Lajur

- j. Tebal Lapisan Pondasi dari solusi yg diberikan dalam Bagan Desain 4
- Tebal Lapisan diperoleh dari Bagan Desain 4
- k. Detailed Desain meliputi dimensi slab, penulangan slab, posisi anker, ketentuan sambungan dsb.
- Tebal pelat beton dari Bagan Desain 4 & 4A
 - Ketentuan tentang penulangan, anker panel & sambungan diperoleh dari Pd T-14-2003
 - Sambungan Pelaksanaan Melintang :
 - Sambungan pelaksanaan melintang yang :
 - tidak direncanakan (darurat) harus menggunakan batang pengikat berulir
 - direncanakan harus menggunakan batang pengikat polos di tengah-tengah pelat
 - Batang pengikat polos :
 - $h \leq 17 \text{ cm}$, $\Phi 16 \text{ mm}$, panjang 69 cm, jarak 60 cm
 - $h > 17 \text{ cm}$, $\Phi 20 \text{ mm}$, panjang 84 cm, jarak 60 cm

**Tebal 2.22 Bagan Desain 4: Perkerasan Kaku untuk Jalan
Dengan Beban Lalu Lintas Berat**

(Persyaratan desain untuk bagan solusi : perkerasan dengan sambungan dan dowel serta *tied shoulder*, dengan atau tanpa tulangan distribusi retak)

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (overloaded) ¹¹	<4.3x10 ⁶	<8.6 x 10 ⁶	< 25.8x10 ⁶	<43 x 10 ⁶	<86 x 10 ⁶
Dowel dan bahu beton	Ya				
STRUKTUR PERKERASAN (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis Pondasi LMC	150				
Lapis Pondasi Agregat Kelas A ¹²	150				

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

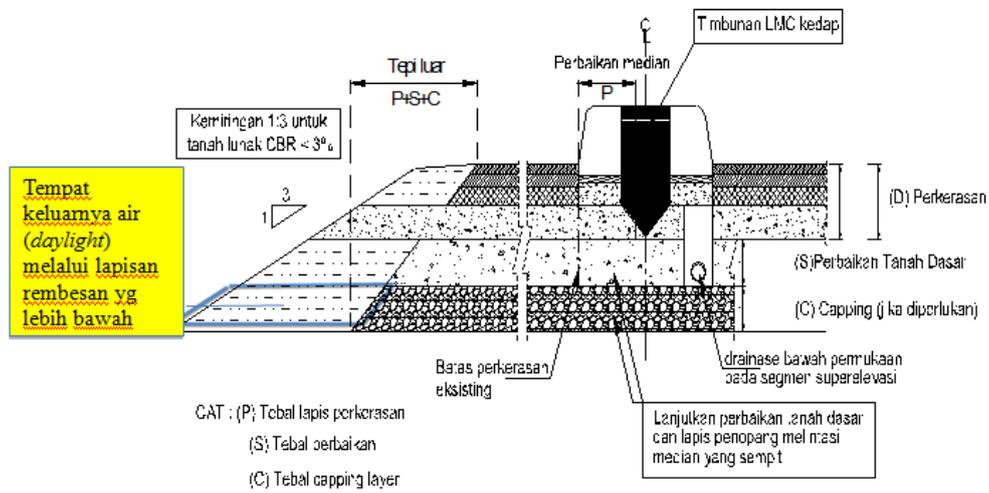
**Tabel 2.23. Bagan Desain 4A: Perkerasan Kaku untuk Jalan
Dengan Beban Lalu Lintas Rendah**

Perkerasan Kaku untuk Jalan Desa dengan Lalu Lintas rendah, jalan untuk jumlah kendaraan niaga rendah dan lalu lintas seperti dalam Bagan Desain 4A				
Tanah dasar	Tanah Lunak dengan Lapis Penopang		Dipadatkan Normal	
Bahu Terikat	Ya	Tidak	Ya	Tidak
	Tebal Pelat Beton (mm)			
Akses terbatas hanya mobil penumpang dan motor	160	175	135	150
Dapat diakses oleh truk	180	200	160	175
Tulangan distribusi retak	Ya		Ya jika daya dukung pondasi tidak seragam	
Dowel	Tidak dibutuhkan			
LMC	Tidak dibutuhkan			
Lapis Pondasi Kelas A 30 mm	125 mm			
Jarak sambungan transversal	4 m			

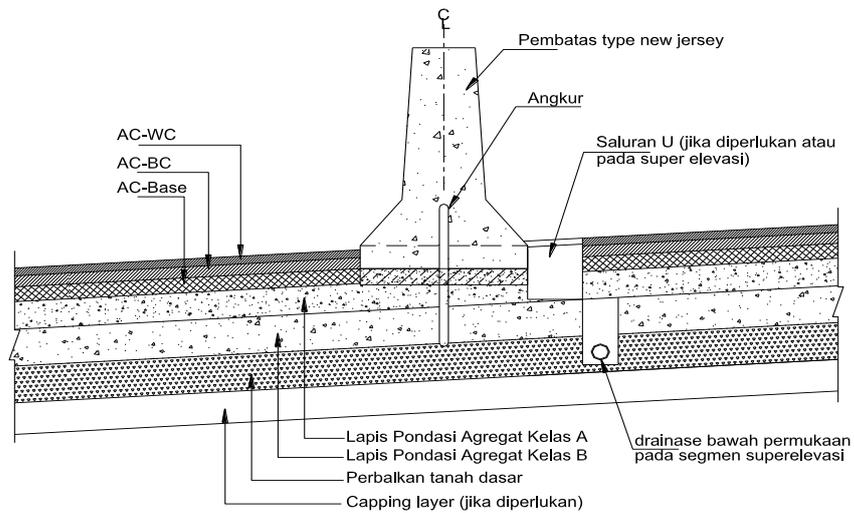
Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 02/M/BM/2013

1. Kebutuhan daya dukung tepi perkerasan

- Daya dukung tepi perkerasan sangat diperlukan, terutama bila terletak pada tanah lunak atau tanah gambut (*peat*). Ketentuan minimum :
 - Setiap jenis lapisan pekerasan harus dipasang sampai lebar \geq nilai minimum dalam Gambar 2.11.
 - Timbunan tanpa penahan pada tanah lunak ($CBR < 2\%$) atau tanah gambut (*peat*) harus dipasang pada kemiringan tidak lebih curam dari 1V : 3H
 - Lapis penopang dan peningkatan daya dukung tanah dasar harus diperpanjang di bawah median sebagai-mana dalam Gambar 2.12. Area median harus terdrainase baik atau diisi dengan lean mix concrete atau dengan bahan pengisi kedap untuk menghindari pengumpulan air yg merusak tepi perkerasan
 - Tempat keluarnya air (*daylight*) melalui lapisan rembesan yang lebih bawah



Gambar 2.12 Lapisan Rembesan Tempat keluarnya Air



Gambar 2.13 Drainase bawah permukaan pada segmen superelevasi

2.2.5 Analisis Nilai Investasi

Metode analisis nilai investasi yang dipergunakan penulis adalah Metode Deret Seragam (*Annual Worth Analysis*). Pada metode ini semua aliran kas yang terjadi selama horizon perencanaan dikonversikan kedalam deret seragam dengan tingkat bunga sebesar MARR. Perhitungan deret seragam ini dipilih dari P sehingga berlaku hubungan/persamaan :

$$A(i) = P(i) (A/P, i\%, N)$$

dimana:

i = tingkat suku bunga bank per periode

N = jumlah periode bunga

P = jumlah uang pada saat sekarang

F = jumlah uang pada saat mendatang

A = Pembayaran yang dilakukan pada setiap akhir periode dengan jumlah yang sama dalam suatu rangkaian pembayaran selama N periode.